

直升机复合材料构件声与超声检测技术的应用

中航工业昌河飞机工业(集团)有限责任公司 贺小玉 李 萌

Application of Acoustic and Ultrasonic Detection Technology for Composite Component of Helicopter



贺小玉

毕业于南昌航空工业学院无损检测专业,现任中航工业昌河飞机工业(集团)有限责任公司质量保证部无损检测室副主任,主要从事直升机复合材料结构件无损检测技术研究,参加过国家多个重点型号复合材料无损检测研究和行业标准的制定。

由于复合材料在直升机上的大量应用,为满足设计质量上的要求,必须有相应的超声检测技术和超声评估方法,本文主要介绍了直升机复合材料构件类型、检测方法、常见缺陷类型及检测要求,目前开展了直升机复合材料构件声与超声检测技术方法及应用的研究,展望了直升机复合材料构件检测技术的发展。

直升机复合材料无损检测标准体系的建立是非常有必要的,统一检测标准、统一检测技术、统一检测方法,只有形成行业标准,才会加速推动复合材料的发展。

直升机复合材料构件检测

直升机复合材料主要结构类型有层压板结构、蜂窝或泡沫芯夹层结构、胶接连接结构等,材料主要有碳纤维、玻璃纤维、芳纶纤维、Nomex 蜂窝、铝蜂窝、泡沫芯等。

层压板结构采用超声脉冲回波 A-扫描和超声穿透 C-扫描方法检测;用脉冲回波数字法测厚;蜂窝组件采用穿透 C-扫描方法检测;胶接连接采用回波 A-扫描或声振检测;泡沫芯结构采用射线照相法检测。

复合材料构件的成型过程极其复杂,其间既有化学反应,又有物理变化,影响性能的因素甚多,许多工艺参数的微小差异就会导致其产生诸多缺陷,使产品质量呈现明显的离散性,这些缺陷严重影响构件的机械性能^[1]。超声检测直升机复合材料构件常见缺陷类型主要有:密集气孔、分层、外来物夹杂、贫胶、富胶、脱粘

等。

超声波检测的一般验收要求是夹层结构为 $\Phi 13\text{mm}$ 、层压结构为 $\Phi 6\text{mm}$ 、轴向罩区域为 $\Phi 3\text{mm}$ 。

但由于复合材料无损检测标准体系在国内非常不完善,仅有 GJB1038.1《纤维增强塑料超声波检验方法》、HB 5460《蜂窝构件超声波穿透 C 扫描检测方法》、HB7224《复合材料构件通用技术条件》等少数几份参考规范,所以不同复合材料构件需要根据设计制定验收标准制定可行的检测工艺规范。

目前开展的技术方法及应用

1 敲击法

敲击法(也称为听音法),用硬币(或特制小锤)敲击听音是一种检测分层、空隙的常用技术。当敲击时声音清脆、尖锐表明该部位结构密实、胶接良好;声音沉闷则表明该处有分层(或疏松)、空腔。

目前,所有的复合材料构件首先进行无损检测的首要方法就是目视法和敲击检测法,其优点是快速方便、简单实用。为了减少了人为因素的影响,现已研制出敲击速率和敲击力均一定的自动测量装置——啄木鸟敲击检测仪,现已成功应用在某型机胶接地板的检测,因地板面积范围大,此种检测技术的应用大大节省了检测时间,提高了工作效率。

2 声阻法

声阻法又称为机械阻抗分析法,它是通过测量结构件被测点振动力阻抗的变化来确定是否有异常的结构存在^[2]。

声阻仪是专为复合材料与蜂窝结构件的整体性检测发展起来的便携式检测仪器,可检测出板—板胶接结构(或复合材料)件或蜂窝结构的单层、多层板分离区域。此方法操作简单,效果很好,能满足设计和使用要求。

多功能胶接检测仪如 DAMI-CZ2000 以及 Bondmaster 具有机械阻抗分析、谐振以及扫频连续波和选频脉冲波定距发送与接受的两种声波传输、4 种测量工作模式。该仪器操作简便,可根据所检制件的结构特征,优选检测模式主要应用于夹层结构。

3 超声检测

超声检测是复合材料无损检测中应用最广泛的方法,它是将高频超声波传入被检构件,接收返回或穿过零部件的信号,以确定内部的缺陷,能检测分层、气孔、裂纹、夹杂,还可判别疏松、密度差别、厚度等材料特性和几何形状的变化。

(1) 超声脉冲反射法厚度测量。

超声测厚原理:脉冲反射法测厚是通过测量由探头产生的超声短脉冲,经过材料厚度从背面反射,再回到探头所需的时间来进行的。试件的厚度可用如下关系式表示:

$$T = \frac{1}{2} v \cdot t \quad (1)$$

式中: T 为厚度; v 为声速; t 为材料中超声传播往返时间。

复合材料属于非均质材料,其声速并非为常数,它与铺层方向、含胶量、固化参数、是否有孔隙等因素均有关,材料的状态可使声束区内出现多种声程。一般选择直径 6.35mm、频率 5MHz 或 10MHz 的探头,仪器与探头组合进行复合材料层压件的厚度测量,其显示精度要求至少达到 0.01 mm。厚度校准试片采用与被检件材料、固化参数、铺层相同或相近并且接近设计理论厚度的试片。校准试片的厚度应涵盖被检件的厚度最小值、最大值及典型中间值。用直接接触型探头测量激励脉冲和来自被检件的第一次背面回波间的时间。也可用带延迟块探头测量一次界面回波和一次背面回波间的时间。

(2) 接触式脉冲反射法。

检测时,在探头与延迟块之间放上甘油等耦合剂,使探头发出的超声波通过延迟块进入检测工件。这时超声波探伤仪上的缺陷和工件底面回波如图 1 所示。从实际检测经验看,对 1mm 以上厚度的层压板缺陷可采用该检测技术。从图 1 看出,缺陷回波和底面回波都保证在始波外,避免了缺陷波或底面回波落在始波内造成对缺陷的漏检。但对大面积复合材料构件检测,目前国内也有采用水膜耦合的高分辨率超声检测方

法,像 FCC 系列检测仪器和 FJ 系列超声换能器,检测表面盲区和纵向分辨率可以达到单个复合材料铺层厚度(约 0.125mm)并且已得到工程应用。

(3) 超声喷水穿透法。

穿透法的原理是依据超声波穿透工件后的穿透波幅度变化来判断工件内部缺陷的情况,如图 2 所示。穿透法常采用 2 个探头,1 个发射超声波、1 个接受穿透后的超声波,分别放置在工件检测部位的两侧。二个探头的中心轴线应对正重合在一条直线上。喷出的水柱应垂直被检测部位的表面。在一定的检测灵敏度下,即入射声波的能量一定的情况下,当被检工件的材质和厚度不变时,穿透波的幅度值不变;如果检测点的工件内部存有缺陷,即材质和厚度发生了变化,由于缺陷界面对入射波的反射作用,使得穿透波的能量减少,穿透波的幅度就会下降。缺陷的面积越大,缺陷界面的反射作用也越大,穿透波的幅度下降也越大,甚至消失。当被检测零件不允许从两侧接近时,也可以采用超声喷水反射法,实现复合材料零件的超声 C 扫描。

采用超声 C 扫描检测,首先必须通过客户特种工艺评审,其要求相当严格,也有专门的审核手册,从人员资质、设备鉴定、用户规范、检测零件的工艺图表批准、检测试块的制作(特别是模拟缺陷类型、大小、预制位

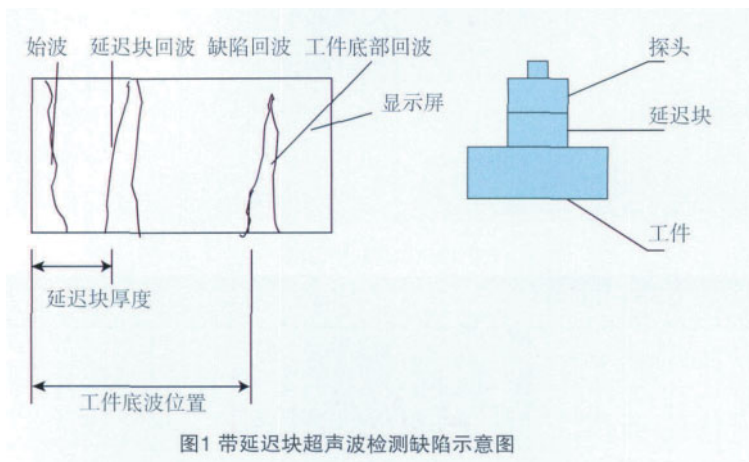


图1 带延迟块超声波检测缺陷示意图

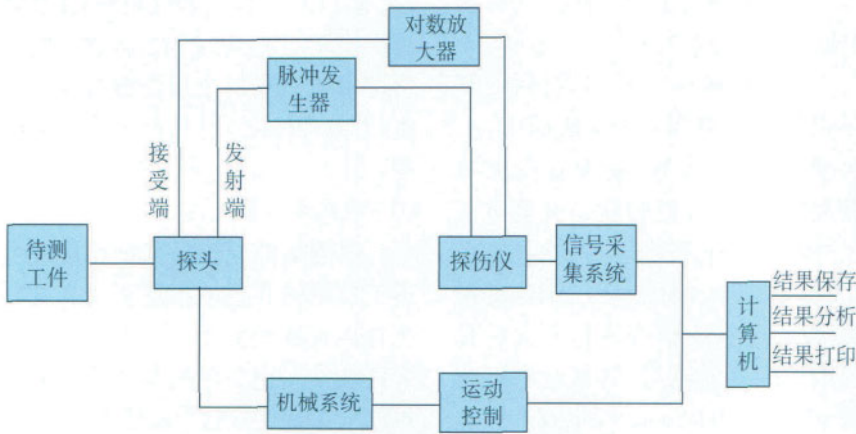


图2 穿透法检测原理

置)、零件的表面准备(如水膜实验),设备校准、探头选取、检测过程控制、检测标识、检测记录、检测结果的处理都有专门的程序规定。

以某型直升机上一零件的试块做超声 C 扫描检测为例,设置与控制的检测参数见表 1。

图 3 是对一试块的超声 C 扫描检测结果。试块长 500mm,宽 575mm,蜂窝厚度为 10mm,材料为碳纤维层压板与纸质蜂窝材料的粘接材料。

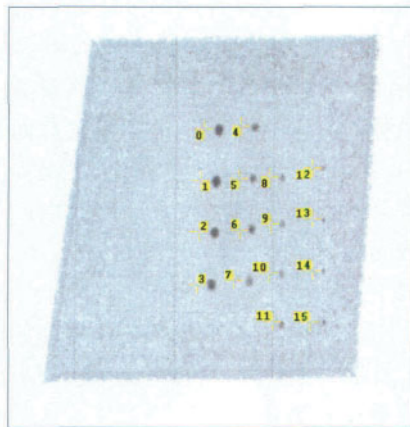


图3 检测试块C扫描结果

表1 超声C扫描检测基本参数与选择案例

检测方法	喷水穿透法	喷嘴直径	6mm
系统水距	75mm	探头类型	水浸直探头
探头频率	1MHz	探头晶片直径	0.5inch
系统衰减	0dB	系统动态范围	100dB
系统发射电压	300V	电压波形	负方波
滤波	1MHz	闸门高度	10%
扫查方式	仿形扫查	扫查速度	100mm/s
采样间隔	1mm	扫查软件	Masterscan 3D
分析软件	Winscan Analysis	调色板	黑白色阶
调色板色阶	256 色	夹持工装	系统平面工装

表2 检测试块缺陷面积

mm²

编号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
检测缺陷面积	191	180	188	190	70	72	65	69	33	34	33	38	9	14	11	12
设计缺陷面积	177	177	177	177	64	64	64	64	28	28	28	28	7	7	7	7

缺陷面积(-6dB 分析法)见表2。从以上数据可见,检测出来的面积比实际应该出现的面积稍微偏大,但都基本符合检测要求。

直升机复合材料构件检测技术发展

在实际应用中,往往需根据复合材料构件的形状、类型、检测要求,缺陷类型、大小、位置、取向及检测设备的检测能力等因素进行综合评估,选用几种不同的检测方法互相补充。

超声是目前复合材料构件无损检测主流方向,超声检测穿透力强、灵敏度高、方向性好、探伤灵活、效率高且成本低廉等优点。

未来的复合材料无损检测将更加追求快速、高效,因此,基于干涉原理和温度场分布原理的激光散斑干涉技术将会推广,特别是适合在外场检测,其特点具有非接触、可大面积扫描、快速等特点,将成为复合材料构件无损检测的良好技术之一。

微观缺陷检测将受到重视。复合材料制造过程中产生的宏观缺陷,通过严格工艺往往可以避免,而复合材料结构内部的微小气孔形成的疏松、孔隙率等缺陷的检测越来越受到重视^[3]。

复合材料现场修补技术会大量应用,而修补后的复合材料构件无损检测技术研究是一个重要课题,必须加强研究与应用。超声相控阵技术将在复合材料构件 R 角区域检测有望进一步推广。

直升机复合材料无损检测标准体系的建立是非常有必要的,统一检测标准、统一检测技术、统一检测方法,只有形成行业标准,才会加速推动复合材料的发展。

本文有参考文献 3 篇,因篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要,请向本刊编辑部索取。

(责编 泰山)